

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
“АЗОВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА”
(ФГБНУ «АЗНИИРХ»)**



**СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ВОДНЫХ И НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

**МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

**Г. РОСТОВ-НА-ДОНУ
26-29 ОКТЯБРЯ 2015 Г.**

**Ростов-на-Дону
2015**

Поповичев В.Н., Егоров В.Н., Бобко Н.И., Родионова Н.Ю., Царина Т.В.

*ФГБУН Институт морских биологических исследований
им. А.О. Ковалевского, Севастополь*

popovichev@ukr.net

**БИОТИЧЕСКИЕ И АБИОТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ
В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРИБРЕЖНОЙ АКВАТОРИИ
ВБЛИЗИ ВХОДА В СЕВАСТОПОЛЬСКУЮ БУХТУ
ЗА ПЕРИОД 2012–2014 ГГ.**

Экологическое состояние морского побережья Крыма зависит от совокупности природных и антропогенных факторов, которые необходимо учитывать при решении задач рационального природопользования. В условиях нарастающего антропогенного пресса и эвтрофирования природных водоёмов исследования по биологической продуктивности морских экосистем являются ключевыми в современной гидробиологии, стремящиеся к максимальному учёту факторов, определяющих экологические равновесие. В этом контексте исследования процессов первичного продуцирования водной биотой органического вещества (ОВ) являются первейшим звеном в получении количественных оценок, необходимых для балансовых расчётов при прогнозировании экоситуаций. Первостепенным, при этом, является поиск факторов, оказывающих лимитирующее влияние на биологическую продуктивность фитопланктона, их взаимосвязь и диапазоны значений.

Целью представляемой работы являлся анализ исследовательского материала, полученного в ходе двухгодичного (с 16 мая 2012 г. по 14 мая 2014 г.) мониторинга поверхностного слоя воды на реперной станции ($44^{\circ} 36.944'$ с.ш.; $33^{\circ} 30.183'$ в.д.) вблизи входа в Севастопольскую бухту и находящейся в так называемой «РБК»-бухте – искусственная полузамкнутая бухта, расположенная у радиобиологического корпуса (РБК) Института Морских Биологических Исследований (ИМБИ) РАН.

Материал и методика

Объектом исследований служило взвешенное вещество (сестон) из поверхностного водного слоя, включающее многообразный, как по составу, так и динамике, биотический компонент, генерирующий первичную продукцию (ПП) органического вещества водной среды [2].

За рассматриваемый двухгодичный период из проводимого многолетнего мониторинга [5] нами было поставлено 38 экспериментов (весной – 9, летом – 8, осенью – 6 и зимой – 15) с радиоизотопом ^{14}C для определения ПП радиоуглеродным методом «в модификации склянок», в условиях

близких *in situ*, когда «светлые» и «тёмные» склянки с внесённым ^{14}C возвращались в место отбора проб воды на 1-суточную экспозицию [4], за время которой значения ПП ($\text{мгС м}^{-3} \text{сут}^{-1}$) близки к «чистой» [1].

В основе расчёта скорости продуцирования ОВ лежала формула: $C_{\phi} = C_{\kappa} \times \tau / R$, где C_{ϕ} – величина фотосинтеза за время экспозиции, мгС л^{-1} ; C_{κ} – общее количество углерода во всех формах уголекислоты в воде (CO_2 , HCO_3^- , CO_3^{2-}), мгС л^{-1} ; τ – радиоактивность, приобретённая фитопланктоном за время экспозиции, кБк л^{-1} ; R – радиоактивность, внесённая в опытные склянки, измеренная при тех же условиях, что и τ , и выраженная в тех же единицах (кБк л^{-1}) [4].

При расчёте ПП использовали значение $C_{\kappa} = 36 \text{ мгС л}^{-1}$ для акваторий вблизи Севастополя [3], при этом исходная радиоактивность ^{14}C в склянках (R) составляла 50 кБк л^{-1} , относительная погрешность определения ПП – 18%. Радиометрические измерения ^{14}C в аликвотах воды из инкубируемых склянок и во взвеси, осаждаемой пофракционно на мембранных фильтрах «Sartorius» с минимальным размером пор $0.2\text{--}0.3 \text{ мкм}$, проводили на жидкостно-сцинтилляционном бета-спектрометре «RackBeta – 1219» с использованием сцинтилляционной жидкости «OptiPhase – II» и периодическим контролем работы прибора по прилагаемому ^{14}C -стандарту.

При постановке экспериментов велись наблюдения за температурой поверхностной воды, а также освещённостью, измеряемую люксметром «Ю-116» вблизи поверхностного слоя. Концентрацию взвешенного вещества в пробах воды определяли методом «мембранного фильтрования» [2], фильтруя $1.0\text{--}1.5 \text{ л}$ воды через предварительно взвешенные нуклеопоровые фильтры с размером пор 0.45 мкм , с последующим их высушиванием и взвешиванием на микроаналитических весах «Sartorius», с погрешностью измерения 0.1 мг . Значения концентрации общей взвеси ($C_{\text{взв}}$, мг(сух) л^{-1}), выраженные для сухой массы, пересчитывали на сырую массу, используя коэффициент пересчёта «сырой/сухой» для черноморской взвеси равный 12.5 [2]. Относительная погрешность определения $C_{\text{взв}}$ в среднем составила 32%. Гидрохимические характеристики проб воды определялись в соответствии с методическими рекомендациями [6].

Результаты и обсуждение

В течение двухлетнего мониторинга была зафиксирована динамика изменения биотических параметров проб поверхностной воды (первичной продукции (ПП, $\text{мгС м}^{-3} \text{сут}^{-1}$), концентрации общей взвеси ($C_{\text{взв}}$, мг(сух) л^{-1}), периода обращения массы взвеси ($T_{\text{обр}}$, сут) и абиотических (максимальной дневной освещённости у поверхности воды (E_{max} , клк) и её температуры ($T_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$)), при этом значения ПП изменялись в диапазоне от 1.4 до $931.3 \text{ мгС м}^{-3} \text{сут}^{-1}$, $C_{\text{взв}}$ – от 0.3 до $3.0 \text{ мг(сух) л}^{-1}$, $T_{\text{обр}}$ – от 2.7 до 1666.7 сут, E_{max} – от 9.5 до 101.0 клк и $T_{\text{в}}$ – от 7.0 до $26.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Анализ этих данных показал, что максимальные значения ПП в основном приурочены к повышенным значениям $T_{\text{в}}$, характерной для летнего сезона года, как и E_{max} . Напротив, значения $T_{\text{обр}}$ отрицательно коррелируют со значениями $T_{\text{в}}$, отражая их относительную противофазность во временном распределении (рис. 1В), однако динамика двухлетнего изменения концентрации $C_{\text{взв}}$ не даёт основания говорить о какой-либо её функциональной связи с $T_{\text{в}}$ (рис. 1Б). В целом, графическое представление полученных зависимостей этих параметров от температуры воды демонстрирует рис. 1. Так, на рис. 1А видно, что значения ПП достигают условного уровня эвтрофности ($100 \text{ мгС м}^{-3} \text{ сут}^{-1}$) [7] при значениях $T_{\text{в}}$ в основном присущих летнему сезону. Также в основном на лето приходится относительно низкие значения периода обращения массы взвеси ($T_{\text{обр}} \leq 10 \text{ сут}$), отражающего наиболее высокую интенсивность процесса первичного продуцирования ОВ (рис. 1В). Рис. 1Г иллюстрирует положительную корреляцию значений E_{max} и $T_{\text{в}}$, отражающих взаимосвязь физических факторов тепла и света.

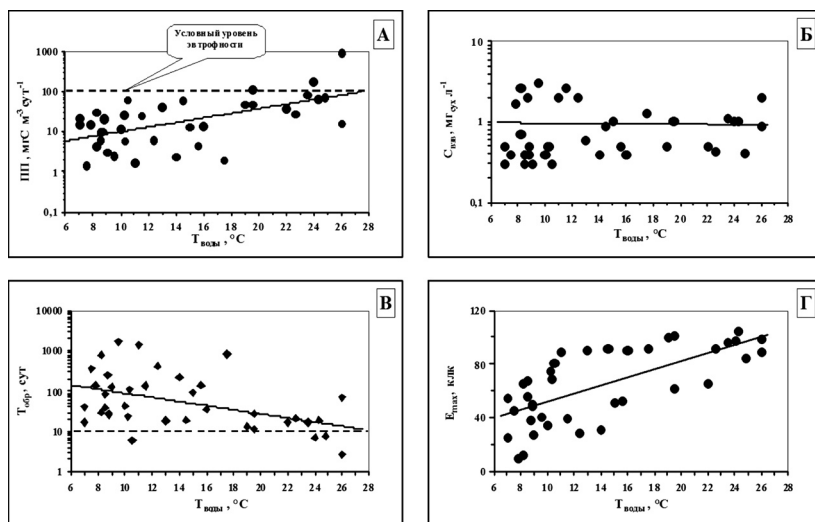


Рисунок 1. Функциональная связь биотических параметров поверхностной воды (А – первичная продукция, Б – концентрация общей взвеси, В – период обращения массы взвеси) и абиотического (Г – максимальная дневная освещённость) с посезонным изменением её температуры ($T_{\text{в}}$, °C)

Результаты определения значений гидрохимических параметров поверхностной воды, отвечающих за минеральное питание микробиоты, приведены на рис. 2 и представлены в виде функциональных зависимостей содержания в воде минеральных форм азота (рис. 2А) и фосфора (рис. 2Б) от изменения её температуры. При этом значения концентраций

соответствующих соединений изменялись в диапазонах (мкг л⁻¹): нитриты – от 0.4 до 8.1, нитраты – от 7.5 до 653.0, аммоний – от 1.0 до 424.2 и фосфаты – от 1.1 до 105.1. Из анализа рис. 2А вытекает слабая положительная корреляция температуры воды и концентрации нитратов и отсутствие какой-либо функциональной связи с концентрациями нитритов и аммония, а рис. 2Б отражает слабую отрицательную корреляцию $T_{\text{в}}$ с концентрацией фосфатов.

Из полученных данных для азота и фосфора были рассчитаны значения, так называемого, атомарного соотношения Редфилда ($PR_{\text{ат}}$ (N/P)), характеризующего оптимальное соотношение этих биогенов, необходимых для нормальной жизнедеятельности водорослей. При этом, значения $PR_{\text{ат}}$, рассчитанные по концентрациям в воде нитратов и фосфатов, выраженных в мкг л⁻¹ ($PR_{\text{ат}}(\text{NO}_3/\text{PO}_4) = 1.5 \times (\text{NO}_3/\text{PO}_4)$), изменялись от 0.4 до 122.4, а рассчитанные по концентрациям всего азотного комплекса (нитриты + нитраты + аммоний) и фосфатов ($PR_{\text{ат}}((\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_4)/\text{PO}_4) = 1.53 \times (1.35 \times \text{NO}_2 + \text{NO}_3 + 3.44 \times \text{NH}_4) / \text{PO}_4$) изменялись от 1.7 до 233.7, и положительную скоррелированность этих данных с температурой воды иллюстрируют соответственно рис. 2В и рис. 2Г.

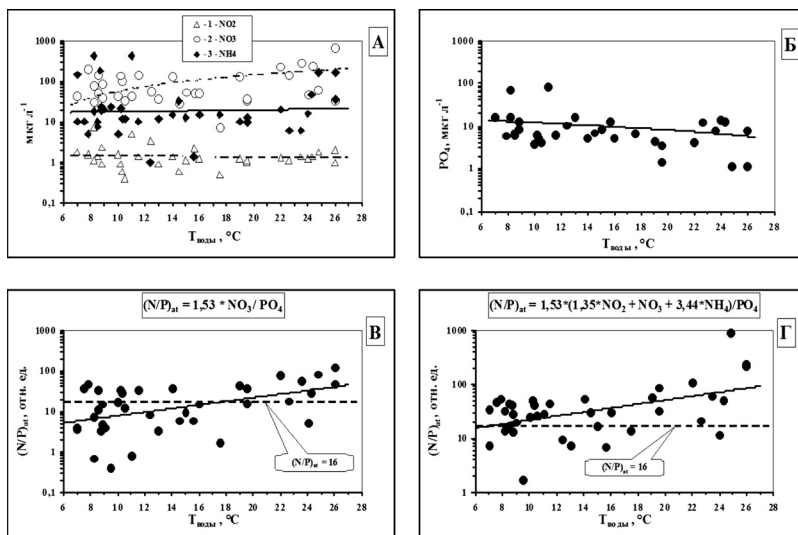


Рисунок 2. Зависимости от изменяющейся сезонно температуры поверхностной воды ($T_{\text{вод}}, ^\circ\text{C}$):

- А – концентраций минеральных солей азота (1 – нитриты, 2 – нитраты, 3 – аммоний);
 Б – концентраций фосфатов; В и Г – значений атомарного соотношения Редфилда, рассчитываемого соответственно по отношению концентраций (в мкг л⁻¹): В – нитратов к фосфатам, Г – через отношение концентраций всего азотного комплекса к фосфатам

Из оптимальности значения $PR_{at}(N/P) = 16$ и рассмотрения данных, представленных на рис. 2В, когда расчёты $PR_{at}(N/P)$ основываются только на концентрациях нитратов и фосфатов, следует, что при относительно низкой температуре воды, в нашем случае – примерно до 18 °С, приуроченной к осенне-зимне-весеннему периоду года, – лимитирование процесса первичного продуцирования ОВ происходит за счёт дефицита азота, а свыше 18 °С, свойственной летнему сезону, – лимитирование идёт по фосфору.

При рассмотрении данных, представленных на рис. 2Г, когда расчёты $PR_{at}(N/P)$ основываются на отношении концентраций всего азотного комплекса и фосфатов, а такая оценка более приближена к реальной, следует, что практически для всего исследуемого диапазона температуры поверхностной воды (7 – 26 °С) лимитирование процесса первичного продуцирования ОВ преимущественно происходит за счёт относительного дефицита фосфора по отношению к азоту.

Заключение

В ходе проведённого анализа данных двухгодичного мониторинга получены оценки биотических и абиотических параметров поверхностной воды в «РБК»-бухте, отражающие реалии процесса первичного продуцирования органического вещества и дающие основание на выделение лимитирующего биогенного элемента из минерального комплекса фосфорных и азотных соединений в морской воде.

Список литературы

1. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск: АН БССР. 1960. – 329 с.
2. Витюк Д.М. Взвешенное вещество и его биогенные компоненты. Киев: Наук. думка. 1983. – 212 с.
3. Игнатьева О.Г. Состояние компонентов карбонатной системы вод Севастопольской бухты по данным экспедиционных исследований 2006–2007 гг. // Морск. экологич. журн. 2009. Т. VIII. № 2. – С. 37–48.
4. Методическое пособие по определению первичной продукции органического вещества в водоёмах радиоуглеродным методом. Минск: Белгосуниверситет. 1960. – 26 с.
5. Поповичев В.Н., Егоров В.Н., Царина Т.В., Родионова Н.Ю., Бобко Н.И. Биотические и абиотические характеристики взвеси поверхностной воды «РБК»-бухты – у радиобиологического корпуса ИнБЮМ НАНУ за период 2009 – 2011 гг. // Материалы Научной конференции «Ломоносовские чтения» 2013 года и Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2013» / Под ред. М.Э. Соколова, Г.А. Голубева, В.А. Иванова, Н.Н. Миленко, В.В. Хапаева. Севастополь: ООО «Экспресс – печать». 2013. – 494 с. (С. 43 – 44).
6. Руководство по методам химического анализа морских вод / Под ред. С.Г. Орадовского. Л.: Гидрометеиздат. 1977. – 208 с.
7. Финенко З.З., Суслин В.В., Чурилова Т.Я. Региональная модель для расчёта первичной продукции Черного моря с использованием данных спутникового сканера цвета SeaWiFS // Морск. экологич. журн. 2009. Т. II. № 8. – С. 81–106.